

Serielle Fertigungstechniken und Bautypologien

Serial Production Methods in Building Construction

Text: Jutta Albus

Fotos:

S. 15: Johannes Förster; S. 16: Georg Aerni;
S. 17 oben: Field Condition; S. 17 unten: Iwan Baan;
S. 18 oben: dataAE/HARQUITECTES;
S. 18 unten: Adrià Goula

Zunehmendes Bevölkerungswachstum und Landflucht sind Phänomene unserer Zeit. Sie verursachen ein stetiges Wachstum der urbanen Ballungsräume, das sich beispielsweise in den Nachverdichtungen und Neubauten der Städte und Vorstädte widerspiegelt. Serielle Bauweisen sowie effiziente, wirtschaftliche und ressourcenschonende Herstellungsprozesse erhalten in diesem Zusammenhang eine besondere Bedeutung – ebenso wie das enge Zusammenspiel von Architektur, Konstruktion und Bautechnik, das die Grundvoraussetzung für technisch und ökonomisch leistungsfähige Bauwerke bildet.

Vom mobilen zum seriellen Bauen

Die Verwendung einheitlicher Bauteile beschäftigt Architekten und Bauschaffende seit jeher. Traditionelle Jurten und Zelte von Nomaden, aber auch Leonardo da Vincis zerlegbare Gartenpavillons aus den Jahren 1494 und 1497 zeigen, dass Konzepte für mobile Behausungen schon früh gedacht und realisiert wurden. Vor allem Krisensituationen und Kriege ließen hierfür einen erhöhten Bedarf entstehen, der die Entwicklung leichter Konstruktionen, wie etwa der transportablen Lazarett- und Sanitätsbaracke von Johann Clemens Doecker, beschleunigte. Während Massivbauweisen aus Stein oder Mauerwerk bis heute als dauerhaft und beständig gelten, war Holz bis zum Industriezeitalter das einzige Baumaterial, das die Errichtung schnell und einfach auf- und abbaubarer Konstruktionen aus einheitlichen Teilen erlaubte – und sich so in besonderer Weise für das serielle Bauen eignete. Neue Möglichkeiten im Bereich der seriellen Bauteilfertigung durch die Baustoffe Stahl und Stahlbeton beeinflussten zu Beginn des 20. Jahrhunderts weltweit die Entwicklung ganzer Stadtteile. Die Wohnungsbauprogramme deutscher Städte erforderten in den 1920er-Jahren die Effizienzsteigerung von Baustellenabläufen und Fertigungsmethoden, die wiederum die Typisierung von Grundrissen vorantrieben. So kommt eine frühe Form des Beton-Großtafelbaus z. B. in Martin Wagners Kriegerheimstädtensiedlung

in Berlin oder der Siedlung Praunheim von Ernst May in Frankfurt zum Einsatz. Zugleich gewinnt das Bauen mit Stahl- und Stahlleichtbauteilen an Bedeutung, das zunehmend leichte Konstruktionen aus Holz verdrängt. Experimentelle Herangehensweisen wie Fritz Hallers Bausysteme, die auf Serienbauteilen für Tragwerk, Gebäudetechnik und Fassade beruhen, oder die Systembaukästen der Maisons Industrialisées von Jean Prouvé zeigen, welche gestalterische Vielfalt beim Einsatz einer limitierten Zahl an Teilen erreicht werden kann.

Vorfertigung und Massenware

Eine Serie besteht aus mindestens drei gleichen oder zumindest sehr ähnlichen Einzelteilen. Deren Wiederholung erlaubt – völlig unabhängig vom Material – in erster Linie eine wirtschaftliche Produktion und/oder eine einfache Montage. Der Begriff »Serielles Bauen« bezeichnet die Verwendung gleicher Teile oder Elemente in einem Bauprojekt.

Dass serielle Bauweisen keineswegs, wie häufig angenommen, zu einer gleichförmigen Architektursprache führen, sondern besondere Gestaltungsspielräume eröffnen, belegen unter anderem die Projekte von zwei Pionieren auf diesem Gebiet: Konrad Wachsmann, der nicht nur spektakuläre Hallenkonstruktionen entwickelte, sondern auch den Holzbau seiner Zeit revolutionierte, und Angelo Mangiarotti, dessen Bausysteme aus Betonfertigteilen eindrucksvoll die Verknüpfung von hoher Ästhetik und seriellen Konstruktionstechniken aufzeigen (Abb. 1). Serielles Bauen und Vorfertigung werden zwar oft in Zusammenhang gebracht, unterscheiden sich jedoch durch Prozesse und Herangehensweisen. Typischerweise beschreibt eine Vorfertigung im Bauwesen Abläufe, die vorwiegend im witterungsgeschützten Umfeld einer Werkhalle oder Fertigungsstätte stattfinden – offen bleibt dabei, in welchem Umfang automatisch gesteuerte Fertigungsmaschinen oder Handarbeit zum Einsatz kommen.

Während Stückzahlen bei der Vorfertigung keine Rolle spielen, geht es beim seriellen

Bauen stets um eine Vielzahl gleichartiger, vorwiegend identischer Teile – kleinere Bauteile und große Wand- und Deckenelemente ebenso wie komplexere, dreidimensionale Raummodule.

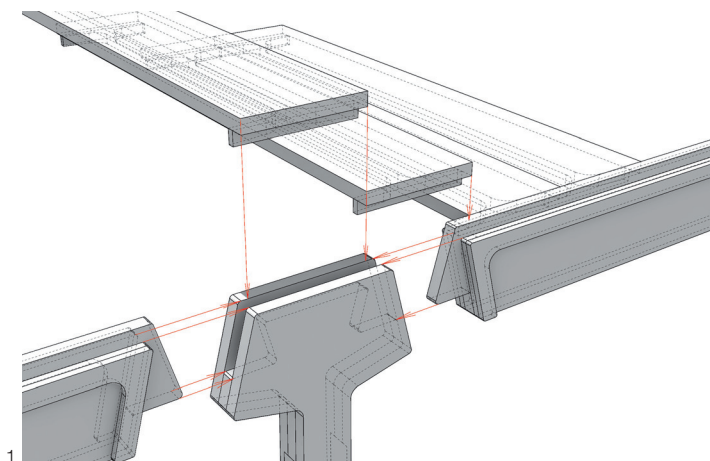
Insbesondere im Hinblick auf die Herstellung und Montage serieller Bauteile sind effiziente Prozesse und Abläufe naheliegend. Sie ermöglichen Schnittstellenreduzierungen, verbesserte Bauteilfugungen und die konsequente Beschleunigung aller Arbeiten an einem Bauwerk.

Eine klare Abgrenzung der Begriffe Vorfertigung und serielles Bauen ist nicht einfach. Während das serielle Bauen stets auf Vorfertigung beruht, ist dies umgekehrt nicht zwingend der Fall. Assoziationen zur Serienproduktion anderer Industrien im Bausektor gelten nur für bestimmte Produktgruppen oder Halbzeuge. Bauteile und Komponenten, die in großen Serien unter wirtschaftlichen Aspekten hergestellt werden, sind in der Regel Massenware und wenig spezifiziert.

Produktionstechnologien

Je konsequenter Konstruktion und Bautypologie zusammenhängend entwickelt werden, desto effizienter lassen sich auch die Herstellungs- und Montageprozesse gestalten. Die Ausbildung der Teile und die Stückzahl der Serie haben einen wesentlichen Einfluss auf die Produktionsmöglichkeiten und sind auch maßgeblich für die Wirtschaftlichkeit eines Projekts. Wollen Architekten sowohl ökonomisch optimierte Realisierungsprozesse als auch eine hohe gestalterische Qualität erreichen, müssen sie sich bereits in den frühen Planungsphasen intensiv und ganzheitlich mit den Materialien und den hierfür spezifischen Fertigungsprozessen auseinandersetzen.

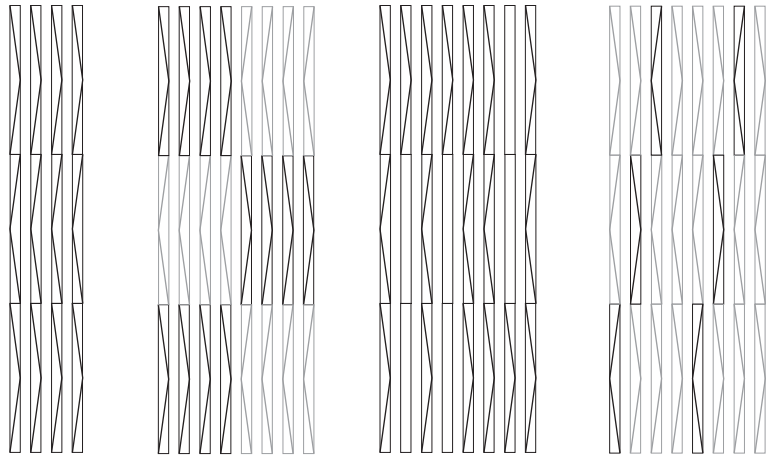
Auf diese Weise entwickelten von Ballmoos Krucker Architekten in enger Zusammenarbeit mit einem Schweizer Fertigteilerhersteller die Struktur und das Erscheinungsbild der Betonsandwichenelement-Fassade der Wohnüberbauung Triemli in Zürich (Abb. 4, 5). Die wirtschaftliche Fertigung der insgesamt etwa 3000 Bauteile war entscheidend für die



- 1 Fügeprinzipien der signifikant geformten Tragkomponenten einer Werkhalle in Lissone, 1969
Architekt: Angelo Mangiarotti
- 2,3 Varianten für die Anordnung vertikaler Betonfertigteilteile als asymmetrisches Grundmodul in K-Form, »Tour Total«, Berlin, 2012
Architekten: Barkow Leibinger

- 1 Construction system for the prominently-shaped load-bearing elements of a factory in Lissone, 1969
Architect: Angelo Mangiarotti
- 2,3 Vertical precast concrete component arrangements with variations of an asymmetrical K-module base element, Tour Total, Berlin, 2012
Architects: Barkow Leibinger

2



Konzeption und Realisierung des 2011 fertiggestellten Projekts. Die Gebäudehülle aus vertikalen Stütz- und horizontalen Brüstungs- und Deckenelementen umfasst ca. 600 Elementtypen, für die nur rund 15 Schalträger eingesetzt wurden. Dank gut durchdachter Abschaltetechniken können die gleichen Formteile wiederverwendet werden, was eine wirtschaftliche Herstellung vereinfacht. Ihre Anordnung mit den gezielt eingesetzten Bauteilfugen führt zu einer besonderen Haptik der Oberfläche, die das signifikante Erscheinungsbild formen und gleichzeitig Montagetoleranzen erlauben.

Entwicklungspotenziale und Strategien

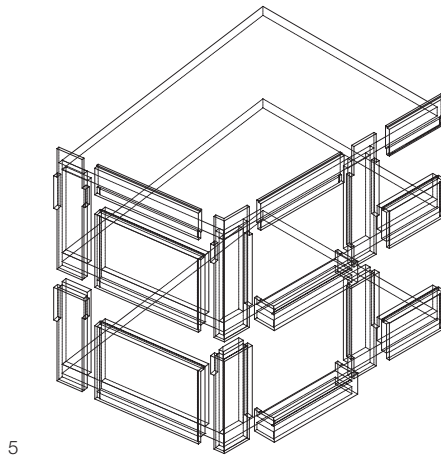
Technologische Fortschritte führen zu einem vermehrten Einsatz automatisierter Fertigungsmaschinen und nehmen immer mehr Einfluss auf Planung und Entwicklung. Vor allem bei großen Projekten können 3D-Softwares und Simulationstools dazu beitragen, komplexe Planungs- und Fertigungsprozesse zu vereinfachen und transparente Strukturen zu schaffen. Ob Investitionen in digitale Entwurfs- und Steuerungsprogramme wirtschaftlich sind, muss im Vorfeld der Planungen geprüft werden.

In einem Architektenwettbewerb, der im Spannungsfeld zwischen Industrie und Architekten angesiedelt war, entstand durch die enge Zusammenarbeit eines spanischen Raumzellenherstellers mit den Architekturbüros dataAE und Harquitectes das im Jahr 2012 realisierte Studentenwohnheim Sant Cugat de Vallès in einem Vorort von Barcelona (Abb. 9, 10). Die Apartments wurden als Stahlbeton-Raumzellen in nur sechs Wochen vorgefertigt und danach komplett ausgestattet auf der Baustelle montiert. Das materialbedingte Gewicht der Einheiten beträgt bis zu 45 t und erfordert Sondergerät für Transport und Montage.

Aufgrund der relativ geringen Spannweiten und Materialquerschnitte eignet sich der Wohnungsbau in besonderer Weise für die Vorfertigung von Bauteilen. Materialunabhängig besteht in diesem Sektor zudem das Potenzial einer großen Entwicklungsvielfalt und architektonischen Flexibilität.

3





Je nach Konstruktionsart und Werkstoff eignet sich speziell der Geschosswohnungsbau für Systemlösungen, die durch innovative Planung ökonomische und technische Vorteile bei hoher architektonischer Qualität ermöglichen – auch und gerade beim Bauen mit Raumzellen oder -modulen. Im Allgemeinen werden vollständig ausgestattete und vorinstallierte Einheiten als Gesamtpaket auf die Baustelle geliefert, vor Ort montiert und an das Leitungsnetz angeschlossen. Zeitfenster für Vor-Ort-Montage und Anschlussarbeiten sind dabei auf ein Minimum reduziert. Die so erreichten Zeitersparnisse tragen zu einer Senkung der Gesamtkosten bei und unterstützen zudem den effizienten Umgang mit Ressourcen auf der Baustelle.

Transport und Logistik

Bei der Betrachtung aller Abläufe von seriellen Bauweisen sind neben Produktion und Aufbauzyklen vor allem die Bereiche Transport und Logistik zu berücksichtigen. Die Entfernung des Fertigungsbetriebs von der Baustelle und die Abmessungen der Bauteile haben entscheidenden Einfluss auf die Kostenstruktur, den Materialverbrauch und den Primärenergiebedarf eines Projekts. In dieser Hinsicht günstige Rahmenbedingungen erleichterten in Manhattan den Bau des Wohnhochhauses »Carmel Place« (Abb. 6–8) aus vorgefertigten Modulen: Die Fertigung der Einheiten in Stahlständerbauweise erfolgte durch ein lokales Bauunternehmen auf einem nahegelegenen Betriebsgelände in Brooklyn.

Dieses Wohnhochhaus von nArchitects zeigt, wie vielseitig modulare Gebäudestrukturen sein können. Die Größe der 55 realisierten Kleinstwohnungen liegt zwischen 24 und 34 m², wovon 22 Einheiten als geförderte Wohnungen vermietet werden. Das Projekt statuiert ein Exempel für eine neue Art von Mikro-Wohnungen im hochverdichteten Stadtgefüge New Yorks und wurde von den Architekten gemeinsam mit Monadnock Development und dem NY Department of Housing entwickelt. Neben den Apartmentmodulen gibt es zehn weitere Module, die

als Gebäudekerne eingesetzt wurden. Dank der minimierten Wohnungsgrößen war es möglich, allen Bewohnern offenstehende Gemeinschaftszonen einzurichten, die den individuellen Wohnraum erweitern.

Zukunftsfähigkeit serieller Bauweisen

Ob und wie bei einem Projekt eine Wiederholung von Komponenten stattfindet, wird selbstverständlich nicht allein von den Produktionsmöglichkeiten bestimmt, sondern resultiert aus ausführlichen Untersuchungen der Rahmenbedingungen. Zu berücksichtigen sind neben architektonischen und konstruktiven Faktoren z.B. Lebenszyklusanalysen, Kosten, Bauabläufe sowie Transport- und Logistikaspekte.

Wie serielle Bauweisen dazu beitragen, die Ökonomie einer Planung zu verbessern und es gleichzeitig schaffen, ein gestalterisch anspruchsvolles Erscheinungsbild entstehen zu lassen, zeigt der Berliner »Tour Total« von Barkow Leibinger Architekten (Abb. 2, 3). Die Fassade des Bürohochhauses in Blickachse des Hauptbahnhofs wird vor allem von der Struktur signifikant geformter, vertikaler Betonfertigteile geprägt. Die auf einem asymmetrischen Grundmodul in K-Form basierenden Komponenten erlauben trotz ihrer Einfachheit ein vielfältiges, lebhaftes Fassadenbild, das allein durch das geschickte Versetzen und Fügen der leicht variierenden, dreidimensionalen Komponenten entsteht.

Serielle Systeme dürfen nicht ausschließlich im Kontext von Stückzahloptimierung und wirtschaftlicher Effizienzsteigerung gesehen werden, sondern müssen zugleich sämtliche Anforderungen erfüllen, die auch an jedes andere Gebäude gestellt werden: architektonisch-gestalterische, konstruktive und technische ebenso wie energetische und ökologische.

Die Berücksichtigung von Fertigungstechnik und Montageprinzipien erweitert den ganzheitlichen Planungsansatz und kann durch den intelligenten Einsatz von industriell hergestellten Teilen zu einer außergewöhnlich hohen architektonischen Qualität und Ausführungsvielfalt führen.

Jutta Albus leitet die Juniorprofessur »Ressourceneffizientes Bauen« (REB) an der TU Dortmund. In ihrer Dissertation »Implementing the Benefits of Prefabrication and Automated Processes in Residential Construction« untersuchte sie industrielle Konstruktions- und automatisierte Fertigungsmethoden und entwickelte die Vorteile entsprechend ihrer Einsatzfähigkeit weiter.

Jutta Albus is a Junior Professor in resource-efficient building design (REB) at the Technical University in Dortmund. Her dissertation "Implementing the Benefits of Prefabrication and Automated Processes in Residential Construction" investigates industrial building techniques and the use of automated production methods. Building processes are examined to increase and expand their operational capability.

Rapid population increases and rural depopulation are phenomena of our time. This has led to the steady growth of metropolitan areas, which is reflected in densification and new buildings in cities and suburbs. Against this backdrop, serial construction methods as well as efficient, economical and resource-conserving manufacturing processes are particularly important. Equally so is the close coordination between architecture, construction and structural engineering, as the prerequisite for technically and economically efficient buildings.

From Mobile Building Systems to Serial Components

Architects and builders have long been drawn to the use of uniform building components. From the traditional yurts and tents of nomads to Leonardo da Vinci's dismantlable garden pavilions from 1494 and 1497, concepts for mobile dwellings were designed and built early on. Wars and other crises provoked their growing need, spurring the development of lightweight structures, such as the portable hospital by Johann Clemens Doecker.

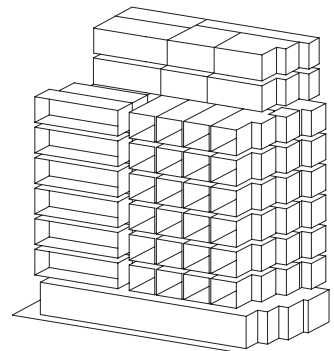
Solid stone or masonry structures continue to be synonymous with durability and lasting building methods. Well into the industrial age, wood remained the only building material that enabled structures to be made from uniform parts. Allowing for quick and easy assembly and dismantling, it was an ideal material for serial construction. However, new possibilities in the early 20th century to manufacture serial components from steel and reinforced concrete began to influence the development of entire urban quarters. In Germany, urban housing development programmes in the 1920s prompted the heightened efficiency of construction sites and production methods, which fostered the standardisation of ground plans. An early form of large-panel concrete building was used for Martin Wagner's housing estate for returning soldiers in Berlin, as well as the Praunheim housing estate by Ernst May in Frankfurt. At the same time, building with steel and lightweight steel components gained in importance as they more



6

- 4,5 Grundgeometrie und Fügeprinzipien der gedämmten Betonfertigteile für die Fassade, Wohnsiedlung Triemli, Zürich, 2011
Architekten: von Ballmoos Krucker
- 6–8 Wohnhochhaus »Carmel Place« aus 75 vorgefertigten Modulen in Stahlrahmenbauweise, New York, 2016
Architekten: nArchitects

- 4,5 Basic geometry and construction system for the insulated precast concrete units of the facade, Triemli housing estate, Zurich, 2011
Architects: von Ballmoos Krucker Architekten
- 6–8 Carmel Place residential high-rise comprised of 75 prefabricated steel-frame modules, New York, 2016
Architects: nArchitects



7

frequently replaced lightweight wood structures. Experimental approaches such as Fritz Haller's building systems based on standardised components for the support structure, services and facade, or Jean Prouvé's kit-of-parts approach with his Maisons Industrialisées, show the variety in design that could be achieved through the use of a limited number of parts.

Prefabrication and Mass Production

A series consists of at least three same or very similar items, whose repetition primarily enables a cost-effective production and/or ease of assembly, regardless of the materials used. The term serial construction refers to the use of identical parts or elements in a construction project.

By no means does serial construction necessarily lead to a uniform architectural idiom, as is often assumed. It also offers unique creative possibilities, as shown by the projects of two pioneers in this field: Konrad Wachsmann, who not only developed spectacular hall constructions but also revolutionised the wooden construction; and Angelo Mangiarotti, whose precast concrete building systems impressively demonstrate the combination of high aesthetics with serial building techniques (fig. 1).

Though often mentioned in the same context, serial construction and prefabrication are fundamentally different methods with distinct processes and approaches. Prefabrication typically describes processes that take place in a weather-protected factory environment. The term does not address the extent to which automatically controlled machines or manual labour are used. While quantities play a minor role in prefabrication, serial construction usually involves large quantities of similar, mostly identical parts – from smaller components to large wall and ceiling elements and more complex, volumetric modules. In terms of the production and installation of serial components, efficient processes and procedures enable interface reductions, improved component joints and the acceleration of all building-related work in general.

It is difficult to draw clear lines between the terms prefabrication and serial construction.

While serial construction is always based on prefabrication, conversely this is not necessarily so. Associations with serial production in other building sector industries apply only to certain product categories or semi-finished products. Building parts and components manufactured in large quantities to achieve economies of scale are typically mass-produced and less specific.

Production Technologies

The closer planning concepts and building construction are developed in accordance with one another, the more efficient manufacturing and assembling processes can be designed. The formation of parts and the num-

ber of items within a series have a strong impact on production possibilities and a project's economic viability. To achieve planning processes that meet both high economic and aesthetic standards, architects must examine the materials and their respective manufacturing processes intensively and comprehensively at the very early planning stages.

This is how von Ballmoos Krucker Architekten, in cooperation with a Swiss manufacturer of precast concrete components, developed the structure and appearance of the concrete sandwich panel facade of the Triemli residential development in Zurich (fig. 4, 5). The economical production of approximately 3,000 components was crucial to the design and



8



9, 10 vorinstallierte Apartmenteinheiten aus Beton, Studentenwohnheim Sant Cugat del Vallès, Barcelona, 2012
Architekten: dataAE & Harquitectes

9, 10 Pre-installed precast concrete apartment units, Sant Cugat del Vallès student residence, Barcelona, 2012
Architects: dataAE & Harquitectes

implementation of the project, completed in 2011. The building envelope, composed of vertical supports and horizontal parapet and floor elements, comprises around 600 element types cast from some 15 formwork casings. Thanks to a flexible shuttering system, individual formwork could be reused, contributing to cost reduction. Joints are strategically placed throughout the arrangement to allow for installation tolerances, giving the surface a unique haptic quality.

Development Potential and Strategies

Technological advances have led to the more frequent use of automated manufacturing machinery, influencing the planning and development of buildings continuously. Especially for large projects, 3D software and simulation tools can be instrumental in simplifying complex planning and production processes. Whether investing in digital design and control software is economically beneficial must be tested in advance of planning.

As a result of an architectural competition calling for close collaboration between industry and architects, the Sant Cugat de Vallès student residence was built in 2012 by a Spanish room module manufacturer and the architects dataAE and Harquitectes (fig. 9, 10). In just six weeks, the apartments were prefabricated as reinforced concrete room modules. The entirely pre-installed and equipped units were then assembled on site.

With up to 45 tonnes of material weight per unit, special equipment for transport and assembly was required. The relatively small spans and lean material cross-sections in residential construction qualify for a use of prefabricated components. Materials aside, this sector offers great potential for the development and enhancement of architectural flexibility and design variety.

Depending on construction type and material use, system solutions are particularly suitable for multi-storey housing. In combination with innovative planning, economic and technical advantages alongside high architectural quality can be achieved, especially in modular constructions. Reducing the time needed for on-site assembly and connection to a minimum helps to reduce overall costs and supports the efficient use of on-site resources.

Transport and Logistics

When considering the processes involved in serial construction, not only do production and construction cycles require special attention, so do transport and logistics. The relocation of production operations from on- to off-site and the dimensions of building components have a decisive impact on a project's cost structure, material consumption and energy use.

In this respect, favourable conditions facilitated the construction of the Carmel Place resi-

dential high-rise in Manhattan using prefabricated modules (fig. 6–8). The steel-framed units were manufactured by a local construction company at a nearby industrial site in Brooklyn.

With this residential high-rise, architects have demonstrated the versatility of modular building structures. Of the 55 micro-apartments ranging in size from 24 to 34 m², 22 are rented out as subsidised housing. The project sets a benchmark for a new type of micro-living in the high-density urban fabric of New York City. In addition to the apartment modules, ten modules serve as the building's core.

The Future of Serial Construction

Of course, whether and how a project might involve the repetition of components is not solely determined by the possibilities of production. It is a result of the detailed analysis of the overall project conditions. In addition to architectural and structural factors, life-cycle analyses must be considered, as well as costs, construction workflow, transport and logistics.

How serial construction helps to improve planning economics while allowing for architectural sophistication is demonstrated by Barkow Leibinger's Tour Total in Berlin (fig. 2, 3). The expressive facade of the high-rise office building is characterised by vertical precast concrete elements that adjust markedly to the structure's form. Despite their simplicity, the K-shaped modules contribute to a dynamic, facade whose effect results from the clever, faceted arrangement of the three-dimensional components in subtle variation.

Serial systems should not only be considered in terms of quantity optimisation and economic efficiency. Beyond this, they meet the multiple demands that apply to the planning of buildings, including architectural and design, constructive and technical as well as energy-efficiency and environmental factors. The consideration of manufacturing techniques and assembly principles expands the holistic planning approach and leads to exceptionally high architectural quality and variety through the intelligent use of industrially manufactured components.

